

CONTART 2016. La Convención de la Edificación
20 - 22 de abril de 2016; Granada (Spain): Colegio Oficial de Aparejadores y
Arquitectos Técnicos de Granada. Consejo General de la Arquitectura Técnica
de España, p.565-574

REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS PÚBLICOS EN BASE A NIVELES COSTE-ÓPTIMOS Y NZEB

ORTIZ, JOANA¹; TARRÉS, JOANA²; GONZÁLEZ, M. LEANDRA³, SALOM, JAUME⁴

*1: Grupo de Energía Térmica y Edificación
Institut de Recerca en Energia de Catalunya (IREC)
e-mail: jortiz@irec.cat, web: <http://www.irec.cat>*

*2: Grupo de Energía Térmica y Edificación
Institut de Recerca en Energia de Catalunya (IREC)
e-mail: jtarres@irec.cat, web: <http://www.irec.cat>*

*3: Grupo de Energía Térmica y Edificación
Institut de Recerca en Energia de Catalunya (IREC)
e-mail: mlgonzalez@irec.cat, web: <http://www.irec.cat>*

*4: Grupo de Energía Térmica y Edificación
Institut de Recerca en Energia de Catalunya (IREC)
e-mail: jsalom@irec.cat, web: <http://www.irec.cat>*

Palabras clave: rehabilitación; edificios públicos; nZEB, coste óptimo.

RESUMEN

El artículo presenta el trabajo realizado en el marco del proyecto RePublic_ZEB, el cual tiene como objetivo promover la rehabilitación de edificios públicos hacia niveles de consumo casi nulo. Se describe cómo el análisis coste-óptimo puede establecerse como metodología para definir los requisitos mínimos que se deberían alcanzar para rehabilitar un edificio público con criterios de consumo casi nulo. En este contexto, en el artículo se presenta el análisis del parque de edificios públicos de Cataluña, así como los criterios para seleccionar las categorías de referencia: oficinas y hospitales. Para el edificio de referencia de la oficina, se implementa la metodología completa, que consta de dos etapas principales: (a) definición técnica y económica de medidas de eficiencia energética; (b) análisis coste-óptimo en base a los estándares europeos de la Norma EN-UNE. Del análisis de los resultados preliminares se proponen cuáles serían los requerimientos mínimos para rehabilitar la oficina con criterios de consumo

casi nulo. Por último, se evalúa la incertidumbre asociada a los costes de inversión, viendo como ésta puede tener una repercusión sobre las medidas que cumplen los requerimientos de una rehabilitación hacia niveles de consumo casi nulo.

1. INTRODUCCIÓN

Aproximadamente el 40% del consumo de energía de la Unión Europea (UE) se debe al sector de la edificación y por este motivo la UE ha marcado objetivos ambiciosos del 20/20/20. De acuerdo con la Directiva 2010/31/UE relativa a la Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD) [1], los Estados Miembros deben diseñar planes de acción nacional para incrementar el número de edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB), así como incluir políticas para estimular la renovación del parque de edificios existentes para reducir su consumo energético.

Un nZEB es un edificio de alto rendimiento energético, en el cuál el consumo anual de energía primaria esté cubierta de forma muy significativa por la energía procedente de fuentes renovables, ya sea producida *in situ* o en las proximidades. La UE ha proporcionado una definición genérica, dejando en manos de cada Estado Miembro la definición exacta en función de las condiciones climáticas locales y regionales. Aelenei et al. [2] muestran como cada Estado Miembro ha adaptado la definición nZEB a su país, destacando las diferencias entre ellos, tanto a nivel de implementación como de requerimientos. Según el Plan Nacional destinado a aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo en España [3], la definición española de nZEB se realizará próximamente siguiendo la línea de modificaciones de la legislación actual y del Código Técnico de la Edificación (CTE) [4]. La definición se basará en una serie de indicadores globales: consumo de energía primaria no renovable y demanda energética de calefacción y refrigeración, los cuales ya se han introducido en el vigente CTE.

En este contexto, el proyecto europeo RePublic_ZEB está centrado en las políticas y estrategias económicamente sostenibles para impulsar la renovación de edificios públicos hacia niveles de consumo casi nulo, de acuerdo con la Directiva EPBD. Los objetivos principales del proyecto son dar apoyo a los países participantes para promocionar en el mercado un conjunto de soluciones técnicas coste-óptimas para la renovación de los edificios públicos hacia nZEB. El proyecto RePublic_ZEB consta de doce socios de la región Sudoriental de Europa. El proyecto que está subvencionado por el programa “Intelligent Energy Europe”, empezó en Marzo del 2014 y finalizará en Agosto del 2016. En el caso de España, el proyecto RePublic_ZEB se centra en la Comunidad Autónoma de Cataluña.

2. METODOLOGÍA

El proyecto RePublic_ZEB establece una metodología que se puede dividir en tres etapas: definición de los edificios de referencia, definición de las medidas de eficiencia energética (MEE) y análisis coste-óptimo para la rehabilitación de edificios públicos hacia nZEB.

En la primera etapa se ha analizado el parque de edificios públicos de Cataluña. El objetivo de dicho análisis es establecer cuáles son las tipologías prioritarias en el

proyecto, así como seleccionar los edificios de referencia de cada una de ellas. Una vez seleccionados y caracterizados los edificios de referencia, se evalúa su situación actual con el fin de detectar cuáles son los potenciales de mejora. A raíz del diagnóstico del edificio se proponen un conjunto de MEE. Estas medidas, pasivas y activas, se caracterizan tanto técnica como económicamente y se evalúan de forma individual y combinada para desarrollar el análisis coste-óptimo, el cual se describe en el siguiente apartado. A partir del estudio coste-óptimo es posible establecer cuáles son los requerimientos nZEB en base a la propuesta desarrollada desde el proyecto RePublic_ZEB.

2.1 ANÁLISIS COSTE-ÓPTIMO HACIA nZEB

A partir de la información recopilada en los pasos previos, es posible realizar la evaluación energética y económica de cada una de las MEE y de sus combinaciones. Para ello, se implementa la metodología establecida por la Comisión Europea en el Reglamento Delegado 244/2012 [5] sobre cómo calcular los niveles coste-óptimo. Las MEE coste-óptimo son las medidas que proporcionan un mayor ahorro energético con el menor coste a largo plazo, teniendo en cuenta los costes energéticos, de inversión, de mantenimiento, operación y deposición. Para ello se utiliza una herramienta desarrollada por el Politécnico de Torino [6], la cual realiza el cálculo del rendimiento energético en base a los estándares europeos de las Normas UNE EN, las cuales se engloban en la UNE EN 15603 [7]. Tal y como se muestra en la Figura 1, se establece un procedimiento general que permite la evaluación de las necesidades de energía primaria para cada uso energético final.

Dicho conjunto de normas incluye la Norma EN 15459 [8], la cual define como desarrollar la evaluación económica, en base a los costes globales. Dichos costes, realizan un balance económico a largo plazo, incluyendo todos los costes generados en el periodo establecido. Tal y como se observa en la Figura 2 los costes considerados son: costes energéticos, costes de inversión y costes de mantenimiento. Una de las particularidades del método es que no solo se incluyen los costes de inversión inicial, sino que se deben contabilizar los costes de reposición de los componentes, en función de su vida útil. Este balance económico permite comparar de forma objetiva las diferentes MEE, ya que no sólo tiene en consideración los costes del año 0, sino todos los costes en un periodo largo de tiempo.

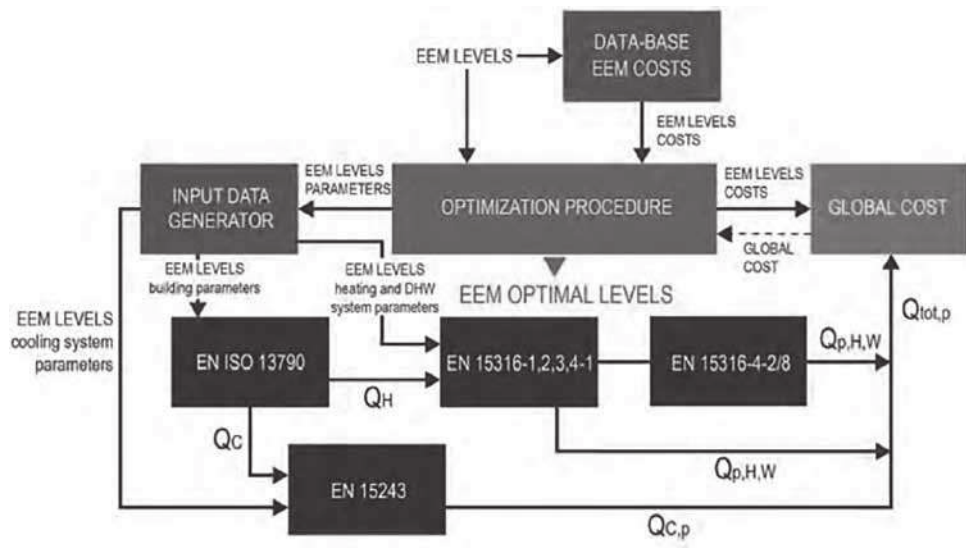


Figura 1 Estructura de la metodología para análisis de los requerimientos energéticos y el coste óptimo [6]. MEE: Medidas de eficiencia energética (EEM, siglas en inglés)

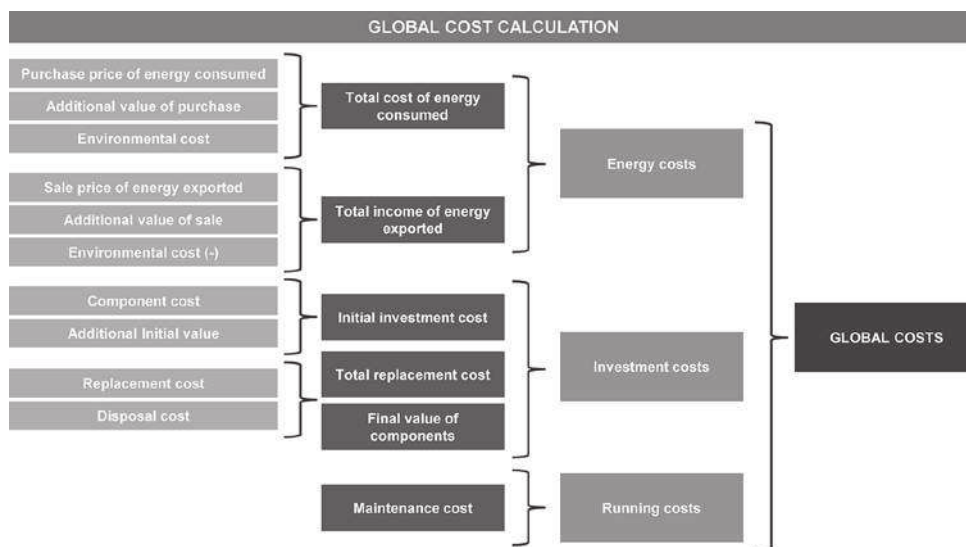


Figura 2. Descripción de los términos que incluye el coste global: costes energéticos, costes de inversión y costes de mantenimiento.

Una vez descrito la base de la metodología coste-óptima, es adecuado introducir la propuesta realizada des del proyecto RePublic_ZEB sobre cómo establecer los requerimientos nZEB: “Transformar un edificio público existente hacia nZEB significa aplicar tecnologías de renovación que consigan: (a) una mínima cobertura de la energía mediante energías renovables; (b) reducir la energía primaria y/o emisiones de CO₂ por debajo del caso óptimo; (c) la rehabilitación sea coste-efectiva”.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el marco del proyecto RePublic_ZEB. En el primer apartado se presentan los resultados referentes al análisis del parque de edificios públicos de Cataluña, así como la selección de los edificios de referencia. En los siguientes apartados se definen las MEE para la oficina de referencia y se implementa la metodología coste-óptima para definir los requerimientos para rehabilitar edificios públicos con criterios nZEB.

3.1 EDIFICIOS DE REFERENCIA

En esta primera etapa se ha realizado una recopilación de datos y análisis del parque de edificios públicos de Cataluña. Las categorías de edificios que se han analizado son las que aparecen en el anexo I de la EPBD: residenciales, oficinas, centros de enseñanza, hospitales, hoteles y restaurantes, instalaciones deportivas y edificios comerciales. Los hoteles, restaurantes y edificios comerciales se han excluido del estudio debido a que en España y Cataluña son principalmente privados. El número de edificios públicos, su superficie y sus consumos energéticos se han obtenido a partir de un conjunto de bases de datos e informes [9-14]. A lo largo de la búsqueda se han encontrado dificultades para obtener datos estadísticos y energéticos relativos a edificios terciarios y en particular, edificios públicos, tal y como se ha mencionado en estudios previos [9, 15, 16]. La información detallada sobre la definición de los edificios de referencia forma parte de uno de los resultados del proyecto RePublic_ZEB [17].

Como resultado del análisis, en la Figura 3 se grafica la distribución de los edificios públicos por categoría, en función de su superficie y su consumo de energía primaria. Se puede observar como las categorías de edificios públicos con una mayor superficie corresponden a las categorías con un menor consumo energético, como serían el caso de vivienda social, oficinas y escuelas. Por lo tanto, la selección de las tipologías puede realizarse desde dos puntos de vista: seleccionar las categorías que permiten una mayor replicabilidad debido al elevado número de edificios; o seleccionar las categorías que tienen un mayor potencial de ahorro energético debido a sus elevados consumos energéticos. Siguiendo ambos criterios, se han seleccionado las oficinas y los hospitales como tipologías a evaluar en el marco del proyecto RePublic_ZEB.

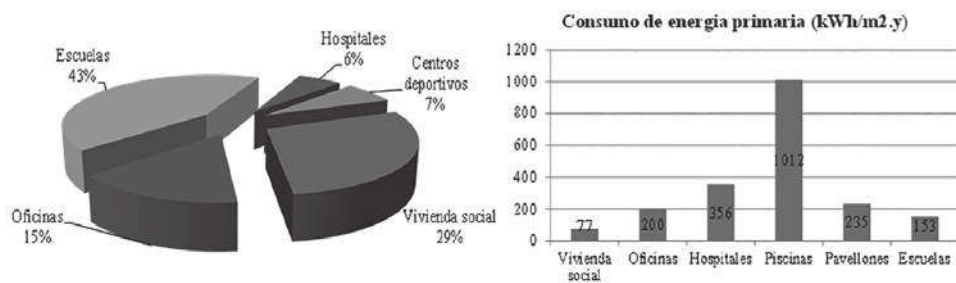


Figura 3. Parque de edificios públicos de Cataluña. Izquierda: Distribución de los edificios públicos según categoría y superficie Derecha: Consumo de energía primaria por cada categoría.

La Figura 4 muestra los edificios de referencia seleccionados como caso de estudio en el proyecto RePublic_ZEB: oficina de la Generalitat de Catalunya en Barcelona, calle Sepúlveda, y el Hospital Joan XXIII de Tarragona. La Tabla 1 describe las características más importantes de los edificios de referencia, de cara a conocer cuál es el punto de partida del análisis.



Figura 4. Edificios de referencia: Oficinas calle Sepúlveda, Barcelona (Izquierda); Hospital Joan XXIII, Tarragona (Derecha).

3.2 MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Se han definido MEE, tanto pasivas como activas, para cada edificio de referencia. Las medidas pasivas se refieren a las medidas que modifican la envolvente del edificio (muros, cubierta, forjado y aberturas). Las medidas activas están referidas a sistemas de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria y sistemas de generación de energía renovable (principalmente fotovoltaica, solar térmica y biomasa). Las medidas, tanto pasivas como activas, y los correspondientes conjuntos, han sido definidos teniendo en cuenta los objetivos nZEB, de acuerdo a lo siguiente:

Tabla 1. Características básicas de los edificios de referencia

Categoría	Superficie	Año construcción	Propiedades térmicas	Horario ocupación	Instalaciones	Usos energéticos
Oficina	5,000 m ²	1980-2006	Ira normativa térmica (NBE-CT-79)	12h/día 5días/semana	Bomba de calor	Calefacción Refrigeración Iluminación
Hospital	10,000 m ²			24h/día 7días/semana	Caldera gas natural Enfriadora	Calefacción Refrigeración Iluminación Agua caliente

- Las MEE propuestas se han seleccionado en función de las prácticas frecuentes y las buenas prácticas en rehabilitación energética de edificios con el objetivo de alcanzar niveles de alto rendimiento energético. Asimismo, se han considerado soluciones y tecnologías disponibles en el mercado.
- Cada uno de las MEE propuestas incluyen diferentes niveles de rendimiento, para evaluar qué nivel es necesario en función de la combinación de medidas que se haga.

- Para las MEE pasivas, se ha incluido un primer nivel que se corresponde con el requerimiento actual del CTE. Para ello, se ha considerado el valor de la transmitancia térmica de la envolvente, para obras de rehabilitación mayor (más del 25% de la envolvente del edificio rehabilitada) y la ubicación del edificio.
- Cada una de las MEE ha sido caracterizada tanto a nivel técnico como a nivel económico, incluyendo los costes de todos los procesos y trabajos necesarios para implementar cada MEE (mano de obra, andamios, trabajos complementarios, etc.).
- La valoración económica de las MEE se ha hecho en base las siguientes bases de datos de precios: BEDEC [18] y Generador de Precios [19].

En la Tabla 2 se detallan las medidas planteadas para el edificio de oficinas, mostrando los diferentes niveles de eficiencia energética y sus costes asociados.

3.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS COSTE-ÓPTIMO

Una vez definido el edificio de referencia y cada una de las MEE se implementan en la herramienta desarrollada por el Politécnico de Torino [6], la cual permite obtener el rendimiento energético del edificio en base a los estándares europeos de las Normas UNE EN. A partir de dicha herramienta se obtiene tanto el balance energético como el económico del edificio de referencia y de cada una de las posibles combinaciones de MEE, permitiendo realizar el análisis coste-óptimo. El balance económico se ha realizado para un periodo de 20 años, tal y como se realiza en [20] para edificios terciarios.

La Figura 5 (izquierda) muestra los resultados preliminares obtenidos para el edificio de oficinas. Cada punto de la figura representa el resultado de una combinación de MEE, siendo el CB el caso base y CO la MEE coste-óptima. En la figura es posible diferenciar tres áreas:

- Las combinaciones de MEE que se sitúan por debajo de la línea punteada horizontal generan un beneficio económico a largo plazo (20 años) en comparación con nuestro caso base.
- Las combinaciones de MEE que se sitúan a la izquierda de la línea punteada vertical tienen un consumo de energía primaria inferior al edificio de referencia cumpliendo el actual CTE.
- Las combinaciones de MEE que se sitúan en el área rayada son MEE que tienen un coste global inferior al caso base y a su vez un consumo de energía primaria inferior a la combinación de MEE coste-óptima.

A partir de este análisis y tal y como se ha explicado anteriormente, el proyecto RePublic_ZEB propone que los niveles nZEB para los edificios públicos rehabilitados deberían situarse en el área rayada de la figura, ya que permiten mejorar los niveles energéticos de las MEE coste-óptimas y a su vez, mantener o incluso reducir los costes globales del edificio de referencia.

Tabla 2. Descripción de las medidas de eficiencia energética aplicadas en el edificio de oficinas

Medidas de eficiencia energética	Parámetro	Nivel de eficiencia				Costes			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Aislamiento exterior fachada	Transmitancia térmica	0.58 [W/m ² ·K]	0.36 [W/m ² ·K]	0.25 [W/m ² ·K]	0.22 [W/m ² ·K]	133.4 [€/m ²]	139.1 [€/m ²]	146.5 [€/m ²]	149.9 [€/m ²]
Aislamiento cámara de aire fachada	Transmitancia térmica	0.51 [W/m ² ·K]	0.38 [W/m ² ·K]	-	-	28.0 [€/m ²]	36.0 [€/m ²]	-	-
Aislamiento cubierta	Transmitancia térmica	0.34 [W/m ² ·K]	0.23 [W/m ² ·K]	0.17 [W/m ² ·K]	0.13 [W/m ² ·K]	63.0 [€/m ²]	73.0 [€/m ²]	95.0 [€/m ²]	113.0 [€/m ²]
Aislamiento forjado	Transmitancia térmica	0.58 [W/m ² ·K]	0.41 [W/m ² ·K]	-	-	56.0 [€/m ²]	59.0 [€/m ²]	-	-
Mejora ventanas	Transmitancia térmica	3.51 [W/m ² ·K]	2.15 [W/m ² ·K]	2.89 [W/m ² ·K]	-	409.9 [€/m ²]	412.8 [€/m ²]	438.3 [€/m ²]	-
Protecciones solares	1: fijas 2: móviles	1	2	-	-	86.8 [€/m ²]	115.1 [€/m ²]	-	-
Bomba de calor eficiente	COP/EER	4.27/3.95	5.21/4.69	-	-	419.9 [M€]	524.3 [M€]	-	-
Recuperador de calor	Eficiencia	0.52	0.65	-	-	114.9 [M€]	117.6 [M€]	-	-
Sistema solar fotovoltaico	Potencia pico	5 [kWp]	12 [kWp]	25 [kWp]	-	13.5 [M€]	31.8 [M€]	66.8 [M€]	-
Sistema de iluminación	Luminaria (Control)	T5 (no)	T5 (sí)	LED (no)	LED (sí)	62.2 [€/u]	82.2 [€/u]	87.9 [€/u]	107.3 [€/u]

En la Figura 5 (derecha) se representan los mismos resultados, pero en este caso se ha aplicado una reducción del 20% de los costes de inversión inicial. Tal y como se ha explicado en el apartado 3.2, el coste de las MEE se ha calculado en base a los precios de las bases de datos BEDEC y Generador de Precios. No obstante, la experiencia en los últimos años muestra que las ofertas presentadas por los profesionales suelen estar un 10-30% por debajo de los costes de las bases de datos de precios. En este sentido, se plantea una gran incertidumbre en relación a los costes de inversión a considerar en el análisis económico. Si se recalculan los costes globales reduciendo un 20% los costes de inversión inicial, podemos observar como no hay cambios en la MEE coste-óptima, manteniéndose el requerimiento para la rehabilitación hacia nZEB. Sin embargo, se puede apreciar como reduciendo los costes de inversión, hay más combinaciones de MEE que cumplen con los requisitos nZEB propuestos, lo cual, tiene una repercusión en la tercera condición de la metodología planteada por el proyecto RePublic_ZEB: las MEE deben ser coste-efectivas.

4. CONCLUSIONES

Tras el estudio realizado se puede concluir que la metodología propuesta en el marco del proyecto RePublic_ZEB es consistente con las pautas marcada por la EU e implementa la metodología de cálculo establecida en los estándares europeos.

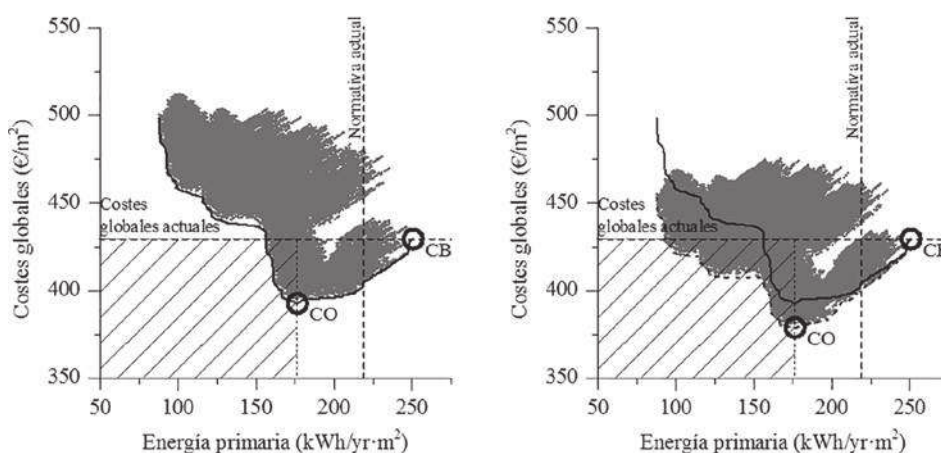


Figura 5. Resultados preliminares del análisis coste-óptimo de las medidas de eficiencia energética aplicadas a la oficina de referencia (CB: caso base; CO: coste-óptimo). Izquierda: Costes de inversión inicial estimados; derecha: Reducción del 20% en los costes de inversión inicial estimados.

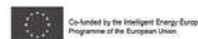
Se confirma, tal y como se había hecho en estudios previos, la falta de información relacionada con el parque de edificios públicos, en particular los edificios del sector terciario. A pesar de ello, el análisis ha permitido determinar las categorías prioritarias para el proyecto, diferenciando dos tipologías: las más numerosas pero con consumos energéticos moderados; las minoritarias pero con consumos energéticos elevados. Las categorías seleccionadas son edificios de oficinas y hospitales, correspondientemente.

Tras los resultados preliminares obtenidos del análisis coste-óptimo para el edificio de oficinas es posible concluir que la metodología es consistente y adecuada para determinar los requerimientos mínimos energéticos para conseguir un edificio público rehabilitado nZEB. De todos modos, tal y como se ha podido observar, la incertidumbre asociada a los costes de inversión puede tener una repercusión directa sobre qué medidas pueden ser consideradas nZEB, ya que la variación de dichos costes hace que las MEE sean o no costo-efectivas. Este hecho hace que la tercera condición para ser un edificio público rehabilitado nZEB, según la definición establecida por el proyecto RePublic_ZEB, varíe considerablemente presentando una debilidad en la metodología planteada.

Es necesario completar el estudio evaluando el porcentaje de cobertura de energías renovables de cada una de las MEE, para así tener una evaluación completa de la metodología propuesta por el proyecto RePublic_ZEB. De igual modo, es necesario evaluar con más detalle la incertidumbre en los costes de inversión para poder proponer una solución al respecto.

5. RECONOCIMIENTOS

Este trabajo está financiado por IEE Project RePublic_ZEB, Grant agreement no. IEE/13/886/SI2.674899.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] European Commission (2010). *Energy Performance of Building Directive (EPBD)*. 2010/31/EU.
- [2] Aelenei, L., H. Petran, J. Tarrés, G. Riva, A. Ferreira, S. Camelo, V. Corrado, M. Šijanec-Zavrl, G. Stegnar, H. Gonçalves, Z. Magyar, J. Salom, E. Polychroni, K. Sfakianaki (2015). New Challenge of the Public Buildings: nZEB Findings from IEE RePublic_ZEB Project. *6th International Building Physics Conference IBPC 2015*, Torino.
- [3] Ministerio de Fomento. Dirección General de Arquitectura Vivienda y Suelo (2014). *Plan Nacional destinado a aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo en España*.
- [4] CTE (2013). *Código Técnico de la Edificación*.
- [5] European Commission (2012). *Energy Efficiency Directive*. 2012/27/EU.
- [6] Corrado, V., I. Ballarini, S. Paduos (2014). Assessment of Cost-optimal Energy Performance Requirements for the Italian Residential Building Stock. *Energy Procedia*, 45443-452.
- [7] UNE (2008). *UNE EN 15603:2008. Energy performance of building - Overall energy use and definition of energy*.
- [8] CEN (2008). *EN 15459: Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings*.
- [9] Peters, C., M. Gondesén, F. Pesl (2011). *Regional benchmarking analysis Catalonia.* MARIE project. *Mediterranean Building Rethinking for Energy Efficiency Improvement*, Barcelona.
- [10] Dirección General del Catastro (2013). *Catastro Inmobiliario. Anuario estadístico 2013*.
- [11] Secretaria d'Habitatge i Millora Urbana. Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya (2013). *Estrategia catalana para la renovación energética de edificios*, Barcelona.
- [12] Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad (2014). *Catálogo de centros de atención primaria del SNS y catálogo nacional de hospitales*.
- [13] Agencia d'Energia de Barcelona (2010). *Pla de l'Energia, el Canvi Climàtic i la Qualitat de l'aire de Barcelona 2011-2020 (PECQ)*, Ajuntament de Barcelona.
- [14] Centre Català de l'Esport (2014). *Censos de equipamientos deportivos*, Generalitat de Catalunya.
- [15] Mata, É., A.S. Kalagasidis, F. Johnsson (2013). Description of the European building stock through archetype buildings *8th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems – SDEWES Conference*, Dubrovnik, Croatia.
- [16] Cubí, E., J. Ortiz, J. Salom (2014). Potential impact evaluation: an ex ante evaluation of the Mediterranean buildings energy efficiency strategy. *International Journal of Sustainable Energy*, 33(5):1000-1016.
- [17] Radulov, L., H. Petran (2014). *D 2.1 Report on the preliminary assessment of public building stock. Proyecto Republic_ZEB*.
- [18] Institut de Tecnologia de la construcció de Catalunya (ITeC). Banc BEDEC 2015 Disponible: <http://itec.cat/nouBedec.c/bedec.aspx>
- [19] CYPE Ingenieros. Generador de Precios. España. 2015 Disponible: <http://www.generador-deprecios.info/>
- [20] Ministry of Development of Spain. Directorate for Architecture Housing and Planning (2013). *Report on cost optimal calculations and comparison with the current and future energy performance requirements of buildings in Spain*.